

中等职业教育国家规划教材配套教学用书

物理教学参考

(基础版)

下 册

主编 邵长泰 张明明



高等教育出版社

749

04-42

534a

中等职业教育国家规划教材配套教学用书

物理教学参考

(基础版)

下册

主 编 邵长泰 张明明

副主编 林宏伟 于全福

主 审 张宪魁

本书附盘可从本馆主页 <http://lib.szu.edu.cn/>
上由“馆藏检索”该书详细信息后下载，
也可到视听部复制

高等教育出版社

内容简介

本书是根据教育部 2000 年颁布的《中等职业学校物理教学大纲(试行)》编写的,与邵长泰主编的中等职业教育国家规划教材《物理》(基础版)配套使用的教学参考书。

本书基本按所配套教材的章节顺序编排,前八章(理论课)中每章的内容包括:知识结构,物理学史与物理学家,重点、难点解析,实验指导,物理科学方法,实际应用和解题指导。第九章为物理实验综述。全书分上、下两册,下册给出了本书的练习参考答案及《物理》(基础版)下册的练习参考答案。

本书可供中等职业学校的师生使用,也可供高考自学人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

物理教学参考. 下册:基础版/邵长泰,张明明主编.

北京:高等教育出版社,2002.7

ISBN 7-04-011040-7

I. 物... II. ①邵...②张... III. 物理课-专业学校-教学参考资料 IV. G634.73

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 043105 号

责任编辑 张庆波 封面设计 刘晓翔 责任绘图 朱 静
版式设计 马静如 责任校对 马桂兰 责任印制 韩 刚

物理教学参考(基础版)下册

邵长泰 张明明 主编

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号
邮政编码 100009
传 真 010-64014048

购书热线 010-64054588
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所
印 刷 高等教育出版社印刷厂

开 本 787×1092 1/16
印 张 11
字 数 260 000

版 次 2002 年 7 月第 1 版
印 次 2002 年 7 月第 1 次印刷
定 价 22.20 元(含光盘)

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

序

第三次全国教育工作会议指出:当今世界,科学技术突飞猛进,知识经济已见端倪,国力竞争日趋激烈,教育事业从来没有像今天这样,与国家的安危、民族的兴衰息息相关.国家综合实力越来越体现在国民素质的高低和创新能力上.21世纪,谁的教育先进,谁就能在激烈的国际竞争中处于战略主动地位.

我国有近13亿人口,实施了世界上规模最大的教育.我国教育既有深厚的理论,也有丰富的实践,培养了一代又一代富有献身精神的人才.但不容回避的是,现行的“重教轻学,复制有余而创新不足”的教育方法,严重地限制了学生思维品质的发展,压抑了学生的创新精神.

当今世界的知识,尤其是科技知识有两大特点:一是积累多,知识量大;二是增长快,发展迅猛.在大量的知识中,要选我所用,就要比较、选择,比较出最基本的,选择出最重要的,并力求把这些最基本、最重要的知识内化为学生的品质.当今世界知识迅猛发展,要跟上时代的步伐,就要讲求时效,讲求方法,这就要求广大教师为学生架起更多“桥梁”,准备更多“船只”,创造更多获得知识的机会,这种教育我们称之为方法教育.方法教育可以为学生插上“腾飞的翅膀”.在这一点上,我国教育界早有精辟的论断,最典型的言论是:授人以鱼,不如授人以渔.虽然我们无法把一切文化知识都内化到学生的脑子里,但却可以利用一切手段、一切工具来延伸学生的手和脑,教他们学会学习、学会思考、学会驾驭认识世界的各种学习工具,从而去完成他们的学习,实现他们的创新.

张宪魁教授主持的“物理科学方法教育的理论探讨与实践”课题研究,为中等层次物理科学方法教育探索了一条很好的路子.作为课题组的研究成果之一,由邵长泰高级讲师等主编的《物理教学参考》(上、下册),完全打破了以往教参的传统编写模式,设置了“物理学史与物理学家”、“物理科学方法”等栏目,在物理科学方法教育的领域,进行了有益的尝试.我相信,此书的出版定会对我国职业教育的改革起到良好的推动作用.

最后,我也希望此书的编著者们进一步努力,为我国物理科学方法教育的教改实践,做出更多的贡献.

乔际平

2002年1月

前言

授之以鱼,只能济人一时;而授之以渔,则可使入受用终生.这种重视能力培养、强调方法教育重于知识传授的教学思想,在我国源远流长.遗憾的是,这种教学思想,在上千年的教学行为中,并没有形成根深蒂固的教育理念.特别是在升学竞争日益激烈的今天,社会以升学率评价学校、学生以分数定终身的社会现实,决定了“以知识为中心,以应试为宗旨”的不健全的教学模式在学校教育中的存在和发展.任何人只要浏览一下书店、课桌上比比皆是“考典”、“妙解”和层出不穷的“精析”、“题库”,就可以深深感受到这种教学模式的重负.这种教学模式,驱使学生在题海中沉浮,使人变成了解题的机器,制约了学生创造思维品质的培养,影响了学生解题能力的健康发展,所谓高分低能的现象也因此而滋生蔓延.

为迎接 21 世纪的挑战,培养适应未来社会发展的现代化人才,我国《基础教育课程改革纲要(试行)》颁布了,这是我国基础教育的一件大事,预示着一个符合素质教育要求的新课程体系的诞生.我们广大教育工作者都要积极参与,大胆探索,努力推进教学模式由“知识为中心”向“创新精神和实践能力为中心”的转移.

以创新精神和实践能力为中心的物理教学模式,一个重要的特征就是在传授物理知识、掌握实验技能的过程中,渗透物理科学方法的教育.人的能力依赖于知识,更依赖于方法.方法是能力的灵魂,是通往知识的桥梁,方法比知识更具有生命力和创造性.因此在学习的过程中掌握方法的重要性并不亚于学习知识本身.特别是在科学技术日新月异迅速发展的今天,如果学生不能筹划自己的学习方式和方法,不知道怎样分析与思考教材的重点与难点,对所学物理概念与规律,只知其然而不知其所以然,即使他能背出一千个题目的正确答案,也不能成为适应未来社会的人才.

基于上述认识,为帮助教师备好课,我们在教育部职成司、高等教育出版社的领导、支持下,组织世界银行贷款项目、原国家教委“物理科学方法教育的理论探讨与实践”课题组的部分专家、教师,集体编写了这部与中等职业教育国家规划教材《物理》(基础版)(邵长泰主编,高等教育出版社出版)相配套的教学参考用书.

在本书的编著过程中,我们有意地结合知识内容,突出了物理科学方法的应用,其目的就是倡导物理科学方法的教育与培养,让师生明确认识物理学习中方法指导的必要性与重要性,从而认真培养学生分析问题、解决问题的能力.其主要特点是:

1. 在“重点、难点解析”、“实验指导”和“解题指导”几部分,针对学生在学习过程中容易产生的错误和经常碰到的困难,通过深入详细的分析、综合、归纳和比较,借助模型、图像、等效、估算等物理方法,力图事半功倍,使学生做到在透彻理解基本概念和规律、正确掌握实验技能和技巧的过程中,认识物理科学方法的指导作用,逐步提高分析问题、解决问题的能力.

2. 本书每章都专列一部分,介绍与该章内容相对应的物理学史与物理学家,以求师生从历史的素材中,透视物理知识发现和发展的来龙去脉,认识物理学家的科学方法和科学思维特点,

学习物理学家的敬业精神和科学态度,从而提高自身的科学素养。

3. 以物理科学方法为主线,将物理科学方法渗透到教学参考书的每一部分,是本书的最重要的特点.为更明确、深入地进行物理科学方法教育,扩展学生的物理视野,每章我们都集中介绍了典型的物理科学方法,如实验观察法、分析与综合方法、理想化方法、假说、数学统计法、类比法和比值定义法等。

全书分上、下两册.上册第一、二、三章及参考答案由邵长泰编写,第四章由范明、孔祥泉编写,第五章由王宪明、王若智编写,第六章由姜广华、范雪飞编写,第七、八章及前言由张协成编写,上册由邵长泰、张协成任主编,姜广华、范明任副主编.下册第一章及第九章由张协成编写,第二章由张文芝编写,第三章由林宏伟编写,第四、五章及参考答案由张明明编写,第六章由郝晋、张健编写,第七章由陈霞编写,第八章由于全福编写,下册由邵长泰、张明明任主编,林宏伟、于全福任副主编.全书由邵长泰统稿。

本书由全国教育学会物理教学研究会常务理事兼秘书长、山东省教育厅教学指导委员会委员张宪魁教授审定。

《物理科学方法教育的理论探讨与实践》教育部结项鉴定小组组长、首都师范大学物理学科研究所所长乔际平教授对本书的编写给予了直接指导,并为本书作序,在此,编写组表示诚挚的感谢。

我们希望本书的出版能对广大中等职业学校的师生有所裨益,并期待着读者对本书提出宝贵意见,以便再版时修改完善。

书中标有“*”符号的为选学内容。

编 者

2002年1月

目 录

第一章 分子热运动 热和功	1	三、重点、难点解析	90
一、知识结构	1	四、实验指导	94
二、物理学史与物理学家	1	五、物理科学方法	96
三、重点、难点解析	3	六、实际应用	97
四、实验指导	7	七、解题指导	99
五、物理科学方法	8	第六章 电磁感应	103
六、实际应用	9	一、知识结构	103
七、解题指导	13	二、物理学史与物理学家	103
第二章 固体 液体 气体	18	三、重点、难点解析	104
一、知识结构	18	四、实验指导	106
二、物理学史与物理学家	19	五、物理科学方法	108
三、重点、难点解析	21	六、实际应用	110
四、实验指导	28	七、解题指导	110
五、物理科学方法	30	第七章 物理光学	115
六、实际应用	32	一、知识结构	115
七、解题指导	35	二、物理学史与物理学家	115
第三章 电场	41	三、重点、难点解析	116
一、知识结构	41	四、实验指导	119
二、物理学史与物理学家	42	五、物理科学方法	121
三、重点、难点解析	43	六、实际应用	123
四、实验指导	49	七、解题指导	123
五、物理科学方法	52	第八章 原子核基础知识	128
六、实际应用	54	一、知识结构	128
七、解题指导	55	二、物理学史与物理学家	128
第四章 恒定电流	63	三、重点、难点解析	129
一、知识结构	63	四、实验指导	133
二、物理学史与物理学家	63	五、物理科学方法	134
三、重点、难点解析	64	六、实际应用	136
四、实验指导	71	七、解题指导	137
五、物理科学方法	75	第九章 物理实验综述	142
六、实际应用	76	一、物理实验的一般特点	142
七、解题指导	77	二、物理实验的组成及设计方法	143
第五章 磁场	88	三、实验中基本的物理科学方法	146
一、知识结构	88	四、实验误差及仪表估读方法	148
二、物理学史与物理学家	88	五、物理实验中基本的测量工具	151

参考答案	159	二、《物理》(基础版)下册练习	
一、《物理教学参考》(基础版)下册		参考答案	161
练习参考答案	159	参考书目	166

第一章 分子热运动 热和功

一、知识结构

本章内容由两部分组成.一部分以气体动理论为核心,介绍分子论的基本内容,以及证实气体动理论基本论点的重要实验基础;另一部分以物体的热力学能为核心,介绍改变物体热力学能的两种方法和能的转化与守恒定律.

气体动理论由相辅相成的四个部分组成:宏观物体是由大量分子组成的;分子间有空隙;分子永不停息地做无规则热运动;分子之间存在着相互作用的引力和斥力.对这一基本理论,教材在初中物理的基础上着重作了以下三方面的充实和引申:

① 分子的大小和质量是多少?如何借助阿伏加德罗常数进行计算?并提出了测定分子直径的单分子油膜实验法.

② 介绍确认“分子永不停息地做无规则运动”的典型科学实验——布朗运动.

③ 定性地分析了分子间的相互作用力,并在此基础上引入了分子动能和分子势能的概念.运用气体动理论的观点,教材说明物体热力学能的意义及温度的微观本质,进而通过论述做功与热传递这两个不同的物理过程,对改变物体的热力学能具有等效性的实验事实,揭示自然界最基本、最重要的定律——能的转化和守恒定律.

这种一方面从微观角度,用气体动理论的观点认识热现象,另一方面从宏观的角度,用能量的观点认识热现象的方法,是热学研究的特色.从这两种不同研究方法出发,去学习和认识物理知识,符合学生的认识特点和规律,对学生能力的培养是有益的.

本章的知识结构如下图(见下页)所示.

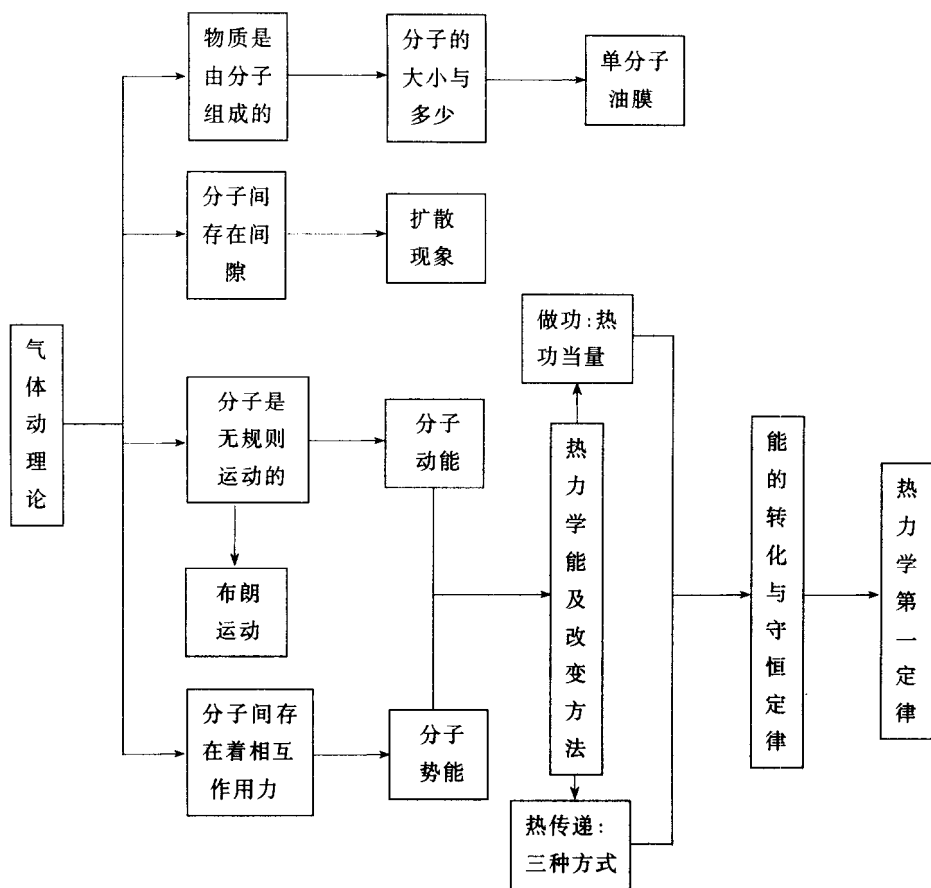
二、物理学史与物理学家

气体动理论的建立

气体动理论是随着人们对物质微观结构的探索逐步建立起来的.

早在 2 400 多年前,古希腊的著名思想家德谟克利特(前 460—前 370),就曾根据前人的思想提出了物质的微粒结构假说.德谟克利特很善于观察和思考,据说有一次他在海边散步,看到海岸上的沙滩都是一粒粒微小的沙子组成的,于是就推想到一个他久思未解的答案——自然界的物质也都应该由最小的微粒组成.他把这些微粒称为“原子”,意指构造物质的原始粒子.

与此同期,我国古代哲人公孙龙、墨家学派、印度的耆教等,也都提出了自己的古原子论.但后来一段相当长的时期中,由于封建统治的禁锢,“物质是由原子构成的”这种唯物主义思想,没能得到进一步发展.



历史发展到 16 世纪,在工程师追求热机效率的进程中,开始了对热的本质的探索.当时,存在两种关于热本质的学说.一种学说认为,热是一种特殊的物质,即热质说.另一种学说则继承和发展了远古的原子论思想,从而提出了气体动理论.

法国学者伽桑狄是发掘和倡导古代原子论思想的热情先行者.1638 年,他就提出假设:各种物质都是由大量的在各个方向运动的坚硬粒子所组成;各种不同物质粒子的不同形状,使它们以不同形式进行结合并表现出不同的性质.利用这一假说,伽桑狄解释了气、固、液三态的区别.

伽桑狄的成功,使不少科学家重新接受了原子论的思想:1678 年胡克提出,空气是由大量快速运动的粒子组成的,它们对四壁的频繁碰撞,形成了空气对器壁的压力;1738 年,瑞士物理学家丹尼尔·伯努利继承了胡克的思想,并推算出了气体压强与体积成反比的玻意耳定律,从而肯定和发展了分子运动假说;此后,罗蒙诺索夫、拉瓦锡、拉普拉斯等相继提出了热的动理学假说,认为物质中的分子处于永不停息的无规则运动中,物质的热能就是分子无规则运动的动能.

19 世纪 60 年代,著名物理学家麦克斯韦、克劳修斯、玻尔兹曼等人在总结前人经验的基础上,开始在运动理论中运用统计的方法,认为物质是数目巨大的分子集合.从本质上说,热现象并不是一个分子的表现,而是大量分子集体行为的共同表现.所以,尽管我们无法描述气体中每个分子的运动特征,但用统计的方法,却能探索物质大量分子集体性质的一般统计规律,从而阐明热现象的本质.这样,根据气体动理论,对于压强、温度、热容量等热学物理量,不但可以做出定性的分析,还可以做出定量的研究.

在 20 世纪初,当科学家用实验观测证实了分子和原子的真实性(如卢瑟福 α 粒子散射实验),特别是爱因斯坦等人在理论上对布朗运动做出解释后,气体动理论已成为人们研究物质世界的一个系统的理论了。

三、重点、难点解析

1. 气体动理论的基本内容与实验基础

气体动理论的内容是:物质是由大量分子组成的;分子间存在间隙;分子永不停息地做无规则运动;分子间存在着相互作用的引力和斥力。

(1) 分子的大小 分子虽然肉眼看不见,也摸不着,但它的客观存在已被大量的物理、化学实验所证实。科学发展到今天,某些有机物的巨型分子,已经可以从电子显微镜下被观察到,利用先进的电子扫描显微镜,人们甚至可以实现“操作原子”的理想。

分子没有一个固定的形状,但为了学习和研究的方便,我们往往以两种模型来认识分子,一种是把分子看成球形,另一种则把分子视为正立方体。在研究分子的大小时,无论将分子看成什么模型,都是一种方法上的近似。所以分子的大小只有在估算时有近似的意义,没有绝对的意义。在一般问题的处理中,这两种模型计算的结果虽然具体数字可能不同,但数量级却是一致的。

如将铜原子视作球形,其直径为

$$d = \sqrt[3]{\frac{6V_0}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{6M}{\rho\pi N_A}}$$

$$= \sqrt[3]{\frac{6 \times 6.35 \times 10^{-2}}{8.90 \times 10^3 \times 3.14 \times 6.02 \times 10^{23}}} \text{ m} \approx 2.83 \times 10^{-10} \text{ m}$$

而将铜原子看成一个立方体,则其边长为

$$d = \sqrt[3]{V_0} = \sqrt[3]{\frac{M}{\rho N_A}} = \sqrt[3]{\frac{6.35 \times 10^{-2}}{8.90 \times 10^3 \times 6.02 \times 10^{23}}} \text{ m} \approx 2.28 \times 10^{-10} \text{ m}$$

现在,测定分子直径的方法已有许多种,但单分子油膜法仍是一种基本的粗测方法:将一滴已知体积 V 的油滴滴在水面上,让其充分展开成一单分子的油膜(如图 1.1 所示)。如果假定油分子是球形的,并且油膜中的分子是一个挨着一个紧密排列的,那么便可认为油膜的厚度就等于油分子的直径。因此

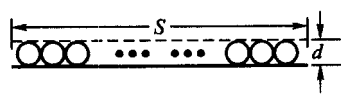


图 1.1

$$d = \frac{V}{S}$$

(2) 分子的运动 物体内的分子永不停息地做无规则运动的观点,是建立在实验事实的基础上的。其中最著名的重要事实是扩散现象和布朗运动。

① 扩散现象 气体和液体的扩散现象,是人们在日常生活中熟知的事实。其实,固体间同样也能产生扩散现象,只是其现象不太明显罢了,例如在半导体工业中,人们利用扩散作用将一些微量元素向半导体晶片表面渗透,从而改变了晶片内微量元素的浓度分布及导电特性。

② 布朗运动 1827 年由英国植物学家布朗发现的布朗运动,在科学思维方法上,巧妙地借

用了等效代换的思想,使人们直观而形象地认识到了分子的热运动特征.

布朗用显微镜首先观察到悬浮在水中的花粉颗粒在不停地做无规则运动,最早,他以为这是一种生命运动.但当他用 100 年前的枯死花粉和一些无机物的微粒再做实验时,仍能发现微粒的无规则运动.后来,人们通过大量的实验证实,只要悬浮在流体中的颗粒足够小(直径约小于 10^{-3} mm),在任何液体或气体中都可以发生这种运动——布朗运动.

布朗运动是怎样产生的呢?直到 19 世纪后半叶,通过德耳索和拉姆塞等人的积极努力,特别是 1905 年爱因斯坦的研究成果,才使人们对布朗运动有了一个正确的解释:由于布朗颗粒受到周围分子不平衡的碰撞所产生的力,促使了它们的运动.由于分子热运动的剧烈变化产生一种涨落不定的力,所以布朗颗粒的运动是无规则的.每个布朗粒子在通常情况受流体分子碰撞约 10^{21} 次/s,在气体中也有 10^{15} 次/s,在如此频繁的碰撞下粒子的瞬间运动是无法观测的,所以我们能观察到的只能是一段宏观短时间内粒子的一种平均运动.当悬浮颗粒足够小时,在任何时间液体(或气体)分子从各个方向对布朗颗粒的撞击作用都是不平衡的,所以布朗颗粒就朝着撞击作用较弱的方向运动,这就是产生布朗运动的原因.

由此可见,布朗运动与分子运动不同.分子是那么的小,以至于我们无法直接去观察它的运动,通过光学显微镜也只能看到的是由大量分子组成的布朗颗粒的运动.所以布朗运动不是分子的运动.但是布朗运动却给我们传递了分子运动的信息,布朗颗粒的无规则运动,反映了液体(或气体)分子的无规则运动特征.

(3) 阿伏加德罗常数的意义 阿伏加德罗常数是物理学中的一个重要的常数,它是联系微观世界和宏观世界的桥梁.对此,我们首先应记住这个巨大的数字 $N_A = 6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$,即 1 mol 的任何物质,其所含的粒子数都为 6.02×10^{23} 个.

设某种物质的摩尔质量为 M ,一个分子的质量为 m ,则

$$m = \frac{M}{N_A}$$

对于固体和液体而言,如果假定它们的分子是一个挨着一个排列的,若其摩尔体积为 V_m ,一个分子的体积为 V ,则

$$V = \frac{V_m}{N_A}$$

认识上述两种关系时应注意的是:前者是一个准确的关系,对气、固、液三态物质都适用;后者则是一个近似关系,它必须假定分子是紧密排列的.这一假定只有对固体和液体才能看作是近似成立的,所以根据这一关系实际进行的都是估算.

借助阿伏加德罗常数,把物质世界中宏观与微观、大量与个别的现象辩证地统一起来,对学生正确认识物质运动规律、培养科学的思维方法,都是十分重要的.

(4) 正确理解分子间力 物体不易被拉伸,也不易被压缩的事实,说明物体内部分子间既存在引力,又存在斥力.将一个固体在截断的地方再结合,一般在常压下是办不到的.这是因为断面上的分子能接触的很少,分子间相对距离大,吸引力很弱的缘故.但如果把两块纯净的、表面平整的铅块紧压在一起,却可以吊起几十牛顿的重物,这是由于两段平整的铅块已达到了充分靠近的原因.

分子间力的作用规律,可以用图像法直观地研究(如图 1.2 所示).图像表明,分子间的引力和斥力的大小都跟分子间距有关.图中曲线 I、II 分别表示了分子间的斥力与引力随分子间距 r 变化的规律,虽然分子间的引力和斥力都随着分子间距的增大而减小,但斥力的变化要比引力衰减得快一些;我们通常所说的分子间力,其实是如曲线 III 所示的分子间引力和斥力的合力.其特点是:

- ① 当分子间距约等于 r_0 ($\approx 10^{-10}$ m) 时,引力斥力平衡,此时分子间力为零;
- ② 当分子间距小于 r_0 时,斥力大于引力,此时分子间力表现为斥力;
- ③ 当分子间距大于 r_0 时,引力大于斥力,此时分子间力表现为引力;
- ④ 当分子间距大于 10^{-9} m 时,引力和斥力几乎减小到零,此时可以认为分子间无相互作用力了.

分子之间的相互作用力随距离变化而变化的特点,也反映了由量变而引起质变的辩证唯物主义哲学观点的普适性.

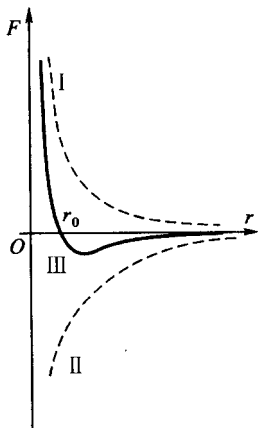


图 1.2

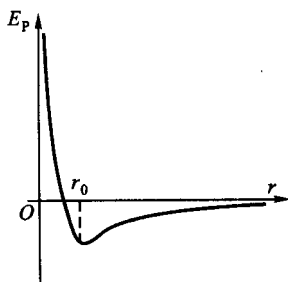


图 1.3

2. 物体的热力学能

(1) 分子动能 物体内的大量分子永不停息地做着无规则运动,因而分子具有动能.

物体内部大量分子做无规则运动时,由于相碰撞的结果,不仅不同分子的动能不同,而且同一分子在不同时刻的动能也不相同.因而,分子热运动的剧烈程度不是由个别分子动能的大小能反映的,而应由大量分子的动能平均值——分子平均动能的大小来反映.所以,从本质上讲,温度是物体内部热运动平均动能大小的标志.

从此我们进一步看出,热学宏观量(如温度)与微观量(如分子动能)和平均值之间存在着一定的联系.也就是说,宏观量所反映的总是大量分子的集体特征,而不是个别分子的行为.我们把宏观量与微观量的平均值之间的这种联系,称为统计规律.

(2) 分子势能 由于分子间存在着相互作用力,因而分子间具有由它们相对位置决定的势能,称为分子势能.

从微观上讲,分子势能与重力势能相似,也与分子间距离有关.当分子间距发生变化时,分子势能也将发生变化,其规律可以用图 1.3 表示:

① 在一般的研究中,我们规定 $r = \infty$ 时,分子势能为零;

② 当分子合力为零(即 $r = r_0$)时,分子势能最小,但不一定为零;

③ 当分子之间的作用力表现为引力时($r > r_0$),增大分子之间的距离要克服分子引力做功,故分子势能将随着分子间距的增大而增大;

④ 当分子间的作用力表现为斥力($r < r_0$)时,减小分子间的距离要克服分子斥力做功,因此分子势能将随分子间距的减小而增加。

由于分子间距变化的宏观反映是物体体积的变化,因而从宏观上分析,分子势能与物体的体积有关,当物体的体积发生变化时,分子势能将发生改变.对气体而言,分子之间的作用力表现为引力,因此当体积膨胀时,分子势能将增加;当体积被压缩时,分子势能则减小。

(3) 物体的热力学能 物体的热力学能是指物体内所有分子的无规则运动的动能和分子势能的总和.热力学能与物质的种类、质量、物态、温度、体积等反映状态的参量有关.一定质量的理想气体的热力学能只与气体的温度有关。

在理解热力学能的概念时,要注意它与机械能的区别.热力学能与机械能分别与两种不同的运动形式相对应,是两种不同形式的能.热力学能是由于微观上大量分子的热运动及分子间的相互作用而使物体具有的能,而机械能则是由宏观物体的运动及物体间的相互作用而使物体具有的能.所以,一个具有机械能的物体,同时也具有热力学能,即使这个物体的机械能被消耗掉,它仍具有热力学能。

同其他形式的能可以相互发生转化一样,物体的机械能和热力学能之间在一定条件下也可以发生相互转化。

3. 物体热力学能的变化

做功和热传递是改变物体热力学能的两种方式。

从物体热力学能改变的角度分析,这两种方式达到的效果是相同的,因此,做功和热传递是等效的。

从能量转化的角度来分析,做功和热传递则是两个本质完全不同的物理过程.通过做功改变物体的热力学能,是其他形式的能向热力学能的转化过程;而通过热传递改变物体的热力学能,则是物体间热力学能的转移过程。

在大量实验基础上得出的能量转化和守恒定律,是自然界中最普遍、最基本的规律之一,恩格斯曾称之为 19 世纪自然科学的三大发现之一。

在学习能量转化和守恒定律时,应重点理解如下两点:

① 任何能量转化都是在做功过程(或热传递)中完成的,能量转化的多少可以用做功(或热传递)的多少来量度,即功(或热量)是能量转化的量度.我们学习功(或热量)的意义也在于此。

② 不同形式的能量转化,意味着物质的运动由一种形式转化为了另一种形式.所以,运用能量转化的观点分析问题,是沟通不同运动形式的重要纽带。

4. 热力学第一定律

一个热学系统热力学能的变化,取决于系统与外界交换的热量和做功情况,用数学式可表示为

$$U = Q - W$$

它揭示了热量(Q)、功(W)和热力学能变化(U)之间的关系,我们称为热力学第一定律.其

实质是包括热力学能在内的能量转化和守恒定律。

使用热力学第一定律时,除注意统一各量的单位为 J 外,还应正确地使用各量的符号(表 1.1)。

表 1.1 各量正、负所代表的物理意义

	+	-
W	物体对外界作功	外界对物体作功
Q	物体从外界吸热	物体向外界放热
U	物体的热力学能增加	物体的热力学能减少

四、实验指导

学生实验

(1) 用单分子油膜粗略测定分子的大小 将一滴经酒精稀释的油酸滴到水面上,它便迅速散开;溶液中的部分酒精溶于水,其余的挥发掉,留下的一层油酸的分子层,即为单分子油膜,这样巧妙地将体(滴)转换到面(膜),从而实现了测量分子直径的目的。

本实验的主要特点是:

① 利用油酸分子的特性,使它在水面上形成单分子层的油膜;

② 用液滴和稀释的办法控制油膜的大小(0.01 cm^3 的纯油酸在水面上所形成单分子油膜可达 $7\sim 8\text{ m}^2$)

本实验的关键是:取得极少量的纯油酸并能准确地测出其体积。

为方便,我们通常是将 1 cm^3 的油酸放入一只 200 cm^3 的容量瓶中,然后将酒精加到刻度线,摇动瓶子,使油酸完全溶解于酒精。如取一滴时,其中纯油酸溶液就是每滴体积的 $1/200$ 。实验时,数出滴满 1 cm^3 的滴数,例如需要 100 滴,则每滴溶液的体积是 $1/100\text{ cm}^3$ 。这样每滴溶液中,纯油酸的体积就是 $\frac{1}{100} \times \frac{1}{200}\text{ cm}^3 = 5 \times 10^{-5}\text{ cm}^3$ 。

(2) 观察布朗运动 本实验的关键就是配制合格的布朗颗粒悬浊液。一般情况下,用藤黄、碳素墨水、花粉均可配制悬浊液。

① 藤黄 在中药店和国画社可买到。取 1 g 藤黄先溶于 20 g 酒精中,然后加入 80 g 左右的蒸馏水稀释成浓度为 1% 的悬浊液,使用效果最佳。但因藤黄有剧毒,实验要特别小心。

② 墨水 将碳素墨水以 $30\sim 40$ 倍的清水稀释后,静置几小时使碳粒在重力作用下沉降。然后用吸管吸取杯中中间部分作检查液,既可排除上层的悬浮杂物,又可获得大小适度,颗粒均匀的悬浊液。

③ 花粉(或蜂粮) 用镊子取下 $2\sim 3$ 朵雄性黄瓜(或南瓜)花的花粉,放在玻璃片上,用移液管滴 $4\sim 5$ 滴清水,用玻璃棒稍加搅拌使花粉的细胞壁破裂,这时许多原生质微粒悬浮于水中,即形成在强光照射下呈淡黄色的悬浊液。

选择适当的显微镜的放大倍数,对提高观察效果是十分重要的,一般选择以不低于 500 倍,

不超过 800 倍为宜,在这样的视场下,实验既便于观察,又便于调节.

(3) 观察分子间的引力 在用内聚力演示仪(两块圆柱形铅块)观察固体分子的引力作用时,要注意:

① 要用车刀车、刮刀刮的方法使两接触面尽量清洁、平整;

② 用力时,先将两光洁端面合在一起,在用力挤压的条件下,将两圆柱形铅块沿相反方向转动.旋转时,对某铅块而言,应朝同一方向转动,不能来回转动.

五、物理科学方法

1. 利用模型认识分子世界

模型是理论知识的一种初级形式.进行理论研究时,往往都要从“造模型”入手.利用抽象化、理想化、简约化和类比等方法,把反映研究对象的本质特性抽象出来,构成一个概念或实物的体系,即形成模型.

分子看不见,抓不着,很难想象它的“形状”是怎样的.但为了对热运动作出直观的分析和对诸如分子大小、分子多少等量作出粗略的估算,我们往往把分子假想成最简单的形状——弹性小球或立方体.在这种分子模型的基础上,教材设计了单分子油膜实验,进而粗略地测出了分子的直径;凭借这个模型,成功地解释了布朗运动产生的原因,从而揭示出分子热运动的特征.

2. 利用估算法求分子的大小

物理估算一般是指依据物理规律,对所求物理量的数量级或取值范围进行大致的推算.

分子是微小的,一般分子直径的数量级是 10^{-10} m,不同物质分子形状差异很大,任何宏观物体中包含的分子个数是十分巨大的,通过阿伏加德罗常数进行的微观计算是不会精确的,这样微观量的计算常常只要求准确到数量级——这就是微观量的估算.

在处理微观量的估算问题时,应注意如下两点:

(1) 分子模型的正确选取 根据固体、液体和气体的微观结构.在固体和液体的微观估算时,可视固、液体分子为球体或正方体,且分子紧密排列而无间隙(注:实际分子间是有间隙的,但这一理想化处理,对固、液体分子大小的估算在数量级上是相符的),因此固体、液体的宏观体积可认为是大量分子体积之和(这也是油膜法粗略测定分子直径的依据).气体分子线度远小于分子间距离,气体分子分布比较稀疏,可视每个气体分子在一个正方体的空间范围内活动,气体分子在这个正方体的中心.这种气体分子模型给我们估算带来很大方便,如估算气体分子间的距离等.

(2) 阿伏加德罗常数 $N_A = 6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ 阿伏加德罗常数 N_A 是联系宏观量与微观量的桥梁,是解决微观分子估算问题的关键.

通常称物质的摩尔质量 M 、摩尔体积 V_m 、密度 ρ 以及物质的质量 m 、体积 V 等为宏观量,称一个分子的质量 $m_{\text{分}}$ 、体积 $V_{\text{分}}$ 和分子的个数 N 等为微观量.

在进行分子估算时,常用到下列几个宏观量与微观量的关系式:

$$\text{一个分子的质量: } m_{\text{分}} = \frac{M}{N_A},$$

$$\text{一个分子的体积: } V_{\text{分}} = \frac{M}{\rho N_A} = \frac{V_m}{N_A}$$

(注:对气体, $V_{\text{分}}$ 为一个分子应分配的空间——正方体气体分子模型的体积. 气体分子间平均距离: $d = \sqrt[3]{V_{\text{分}}}$)

$$\text{分子的个数: } N = \frac{m}{M} N_A$$

对于气体, 由于在标准状况下, 1 mol 的气体体积为 22.4 L, 而气体变成标准状况下的体积 V' , 则气体分子的个数

$$N = \frac{V'}{22.4 \text{ L}} N_A$$

分子的直径是 10^{-10} m , 阿伏加德罗常数为 $6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$, 其实都是人们合理估算的结果. 在教材中, 诸如分子的作用间距、气体分子占有的空间体积等不为大家所注重的数量概念, 也都是估算的结晶.

在物理计算中, 采用估算的方法, 往往会使看来错综复杂的问题找到简明的思路, 使计算摆脱繁冗运算的困境.

3. 用统计的规律研究物理现象

由于一个物体内分子数目的极其庞大和分子间相互作用的异常复杂, 研究跟分子运动有关的热现象、物质状态变化及固体、液体、气体的性质等问题, 就不能像研究宏观物体的机械运动那样简单, 要想追随每一个分子, 单纯用牛顿力学的方法去研究它的运动状态, 实际上是不可能的, 也是没必要的. 我们只有根据分子的集体的运动特性去确定物质分子运动的规律, 这样所采用的研究方法是统计方法.

统计方法是从物质的微观结构出发, 依据每个颗粒所遵循的力学规律, 用平均的方法研究物体热现象的科学方法, 它是从分子运动的复杂多样性中发现宏观物体的单一确定性的桥梁. 因此, 我们说统计方法是从微观角度研究热学的基本方法. 我们对布朗运动的理解, 就是在统计规律的指导下进行的; 而根据阿伏加德罗常数求出的分子质量和体积, 也不是具体哪一个分子的质量和体积, 而是全体分子的平均质量和体积, 这也是统计规律的重要体现.

六、实际应用

1. 从蒸汽机到内燃机

动力机械按其工作方式可分为内燃机和外燃机两大类. 它是以工质在汽缸内, 还是在汽缸外进行燃烧和能量的转换来划分的. 蒸汽机是以煤做燃料, 采用外燃方法, 由蒸汽锅炉产生蒸汽, 推动汽缸中的活塞做功的外燃机.

蒸汽机 一般认为, 蒸汽机是由瓦特在 1765—1776 年发明的, 实际上早在 1690 年巴本就设计制造了用水蒸气作工质的活塞式发动机, 从而成为近代蒸汽机的最早创始人. 而瓦特则对蒸汽机的关键部件作了改进, 使之达到了实用化. 在瓦特以后的一个世纪里, 蒸汽机几乎成为惟一的动力机, 推动了英国和欧洲的工业革命, 经历了它的全盛时期. 虽然在此期间, 为了提高蒸汽机的热效率和工作性能, 进行了许多改进, 制造技术也更精细. 但蒸汽机这种活塞式外燃机的一系列